

11) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

11) N° de publication :

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 708 101

21) N° d'enregistrement national :

93 08370

51) Int Cl⁸ : G 01 L 5/16, 1/00

12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 02.07.93.

30) Priorité :

43) Date de la mise à disposition du public de la
demande : 27.01.95 Bulletin 95/04.

56) Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : Se reporter à la fin du
présent fascicule.

60) Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

71) Demandeur(s) : CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS) Etablissement
public à caractère scientifique et technologique — FR.

72) Inventeur(s) : Couetard Yves (Laboratoire de
Mécanique Physique URA 867 Université de Bordeaux
I).

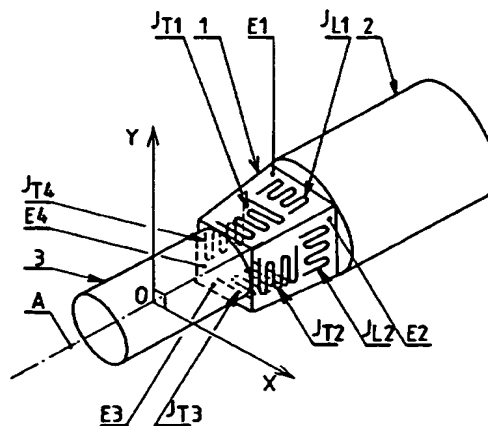
73) Titulaire(s) :

74) Mandataire : Cabinet Thébault S.A.

54) Capteur de force à deux voles et application notamment à la mesure d'un torseur de forces.

57) - L'objet de l'invention est un capteur de force à deux voles, pour la mesure de flexions ou torsions, du type comprenant un corps d'épreuve (1) interposé entre une partie d'encastrement (2) et une partie (3) d'application des forces à mesurer, sur la surface du corps d'épreuve (1) étant appliquées des jauges de contrainte ou analogues reliées à un dispositif de mesure électrique approprié, caractérisé en ce que ledit corps d'épreuve (1) comporte quatre faces (E₁ à E₄) délimitées par un tronc de pyramide à base carrée, la grande base étant tournée vers la partie d'encastrement (2), cependant que lesdites faces sont définies en sorte d'être sensiblement tangentes à une même surface d'isocontrainte (5) résultant de l'application, dans ladite partie d'application (3), d'une force (F) dans un plan perpendiculaire à l'axe (A) du corps d'épreuve (1) et en ce qu'au moins l'une des faces des deux paires de faces opposées (E₁ à E₄) comporte au moins une jauge de contrainte, les jauges des deux paires de faces opposées étant montées dans deux ponts de mesure électrique indépendants.

- Application à la mesure de forces et de moments de torsion et/ou de flexion.



FR 2 708 101 - A1



**CAPTEUR DE FORCE A DEUX VOIES ET APPLICATION
NOTAMMENT A LA MESURE D'UN TORSEUR DE FORCES**

La présente invention a trait à un capteur extensométrique destiné à la mesure de forces et de moments de torsion et/ou de flexion et plus précisément un capteur de force destiné à mesurer les deux composantes orthogonales d'une force de direction quelconque dans le plan de mesure du capteur et susceptible, en utilisation en association avec d'autres capteurs du même type, notamment suivant une combinaison de trois capteurs, de mesurer le torseur des forces appliquées au point de chargement.

10 Le but de l'invention est de proposer un capteur de force à deux voies à la fois rigide et compact et de conception simple.

A cet effet, l'invention a pour objet un capteur de force à deux voies, pour la mesure de flexions ou torsions, du type
15 comprenant un corps d'épreuve interposé entre une partie d'encastrement et une partie d'application des forces à mesurer, sur la surface du corps d'épreuve étant appliquées des jauges de contrainte ou analogues reliées à un dispositif de mesure électrique approprié, caractérisé en ce que ledit
20 corps d'épreuve comporte quatre faces délimitées par un tronc de pyramide à base carrée, la grande base étant tournée vers la partie d'encastrement, cependant que lesdites faces sont définies en sorte d'être sensiblement tangentes à une même surface d'isocontrainte résultant de l'application, dans
25 ladite partie d'application, d'une force dans un plan perpendiculaire à l'axe du corps d'épreuve et en ce qu'au moins l'une des faces des deux paires de faces opposées comporte au moins une jauge de contrainte, les jauges des deux

paires de faces opposées étant montées dans deux ponts de mesure électrique indépendants.

De préférence, lesdites faces du tronc de pyramide sont déterminées en sorte que leur point de tangence avec ladite
5 surface d'isocontrainte se situe sensiblement au milieu de la zone sensible délimitée par l'ensemble des brins actifs de la ou des jauges de contrainte de la face concernée, c'est-à-dire pratiquement au centre de ladite face.

Suivant un mode de réalisation préféré, chaque face est
10 munie de deux jauges, l'une longitudinale et l'autre transversale.

Un tel capteur est remarquablement compact et d'une très grande rigidité résultant d'une forme optimale du corps d'épreuve dont la surface des faces peut être réduite à la
15 taille strictement nécessaire à la mise en place des deux jauges de contrainte.

La mise en place des jauges est ainsi facilitée et, de plus, la disposition des brins actifs des jauges d'une face sensiblement dans le plan de tangence d'une surface
20 d'isocontrainte a pour conséquence l'existence dans le plan de mesure défini par lesdits brins d'un faible gradient de contrainte.

Ainsi, la fabrication du corps d'épreuve peut être réalisée avec des tolérances plus larges, sans obérer pour
25 autant la précision du capteur.

Un tel capteur permet la mesure de forces de torsion ou de flexion.

En outre, son association avec d'autres capteurs de même type, notamment par trois, permet de constituer un capteur de
30 torseur de forces, c'est-à-dire de déterminer à l'aide de six mesures définissant les 3 X 2 composantes de forces appliquées aux trois capteurs, le système équivalent en un point de chargement sous forme d'une force et d'un moment, de torsion ou de flexion, à savoir le torseur réduit audit point de
35 chargement.

Un tel capteur de torseur de forces s'intègre très aisément dans la réalisation de dynamomètres ou de plateaux ou porte-outils dynamométriques à six composantes.

D'autres caractéristiques et avantages ressortiront de la
40 description qui va suivre de modes de mise en oeuvre de

capteurs selon l'invention, description donnée à titre d'exemple uniquement et en regard des dessins annexés sur lesquels :

- 5 - Figure 1 est une vue en perspective d'un capteur de force à deux voies conforme à l'invention, selon un mode de réalisation préféré ;
- Figure 2 est une vue en coupe longitudinale d'un capteur du type de la figure 1, en position d'encastrement et soumis à une flexion ;
- 10 - Figure 3 est un schéma d'un pont de Wheatstone dans lequel sont disposées les jauges de contraintes de deux faces opposées du corps d'épreuve du capteur de la figure 1 ;
- Figure 4 est une vue schématique d'un dynamomètre à
15 six composantes réalisé à l'aide de trois capteurs du type de la figure 1, et
- Figure 5 est une vue en coupe suivant la ligne V-V du dispositif de la figure 4.

Sur la figure 1 on a représenté un mode de réalisation
20 d'un capteur selon l'invention. Celui-ci est constitué d'un corps d'épreuve 1 en forme de tronc de pyramide à base carrée, interposé entre une partie d'encastrement 2 en forme de cylindre dans la section circulaire duquel s'inscrit la grande base du tronc de pyramide 1 et une partie 3 d'application des
25 forces à mesurer, également en forme de cylindre dont la section circulaire s'inscrit dans la petite base dudit tronc de pyramide 1.

Le capteur est, par exemple, une pièce monobloc d'un matériau approprié à la réalisation de capteurs
30 extensométriques, de l'acier ou un alliage à base d'aluminium, et présente, à titre indicatif essentiellement car les dimensions peuvent bien entendu varier, les caractéristiques suivantes : diamètre des parties 2 et 3 : 17 mm et 10 mm respectivement ; longueur des parties 2 et 3 : 25 mm et 22 mm
35 respectivement ; longueur du corps d'épreuve 1 : 13,7 mm ; pente des faces du corps d'épreuve 1 par rapport à l'axe A du capteur : 5°.

Sur chaque face du corps d'épreuve 1 sont disposées, à la manière connue, c'est-à-dire par collage, deux jauges de
40 contrainte conventionnelles dont les brins actifs sont

disposés respectivement longitudinalement au corps d'épreuve 1 (axe A) et transversalement.

Sur la figure 1 on a représenté sur la face supérieure E_1 , une jauge de contrainte longitudinale J_{L1} et une jauge de contrainte transversale J_{T1} et sur la face adjacente visible E_2 , une jauge de contrainte longitudinale J_{L2} et une jauge de contrainte transversale J_{T2} .

La face E_3 opposée à la face E_1 est munie de deux jauges de contrainte J_{L3} , J_{T3} identiques aux jauges J_{L1} et J_{T1} et placées en regard de ces dernières respectivement, seule la jauge transversale J_{T3} étant partiellement représentée sur la figure 1, à des fins de clarté.

De même, la face E_4 opposée à la face E_2 est munie de deux jauges longitudinale et transversale J_{L4} et J_{T4} placées en correspondance avec les jauges J_{L2} , J_{T2} , seule la jauge J_{T4} étant visible sur le dessin.

La partie d'application des forces 3 est soumise à des forces à mesurer d'une direction quelconque mais situées dans un plan perpendiculaire à l'axe A du capteur et défini sur la figure 1 par le référentiel cartésien XOY, l'origine O étant prise sur l'axe A et les centres des faces E_1 et E_2 étant dans les plans définis par l'axe A et les axes OY et OX respectivement.

Sur la figure 2 on a représenté en élévation latérale un capteur du type de la figure 1, encastré dans un massif d'encastrement 4 et soumis à une force ou charge F appliquée en un point O de l'axe A, perpendiculairement à ce dernier.

En 5 est représentée le profil de section d'une surface d'isocontrainte engendrée dans la masse du capteur par l'application de la force F.

Dans la masse du capteur les contraintes engendrées par la force F se distribuent suivant des surfaces cubiques définies chacune par les points où règnent une même contrainte.

L'une de ses surfaces 5 est tangente aux centres C des faces E_1 à E_4 du corps d'épreuve 1. Les formes et dimensions de ce corps d'épreuve 1 sont, conformément à l'invention, précisément déterminées par le calcul pour que les centres C des faces du tronc de pyramide constituant le corps d'épreuve 1 correspondent à un point de tangente des faces E_1 à E_4 à une surface d'isocontrainte 5.

Les jauges de contrainte (J_L , J_T) de chaque face E_1 à E_4 sont disposées de manière que l'aire globale couverte par les brins actifs des deux jauges de la face considérée ait son centre sensiblement confondu avec le centre C de ladite face.

- 5 De préférence, les jauges (J_L , J_T) d'une même face sont disposées symétriquement, pour ce qui concerne leurs brins actifs, par rapport à la médiatrice de la face.

De cette manière, les brins actifs des deux jauges J_L, J_T , bien que se trouvant dans un plan distinct de la surface d'isocontrainte 5, sont néanmoins très voisins de cette surface et sont donc soumis à un faible gradient de contrainte, et, de plus, s'autocompensent du fait de leur disposition à cheval sur la médiatrice de la face, ce qui retentit sur la précision de la mesure.

- 15 La pente p d'inclinaison sur l'axe A de chaque face E_1 à E_4 du corps d'épreuve 1 du capteur de la figure 2, est par exemple de 5° .

Bien entendu, le corps d'épreuve 1 pourrait être calculé de manière à avoir un point de tangence entre chaque face et une autre surface d'isocontrainte, ailleurs qu'au centre C de la face, par exemple au droit de la racine d'encastrement 6 du corps d'épreuve 1, et la pente de chaque face pourrait être différente, étant entendu que, d'une manière générale, cette pente sera comprise préférentiellement dans la plage 5 à 9° .

- 25 La section d'encastrement (grande base du tronc de pyramide 1) du capteur est fonction des surfaces (faces E_1 à E_4) nécessaires pour accueillir les jauges de contrainte. On s'arrangera donc, dans un souci de compacité, pour réduire la surface desdites faces E_1 à E_4 au strict nécessaire au collage des jauges, ce qui permettra de réduire la section d'encastrement et donc la masse de matière et l'encombrement du capteur.

En revenant à la figure 1, il est clair que les jauges des faces opposées E_1 et E_3 assurent la mesure de la composante selon OY de toute force appliquée dans le plan XOY et que les jauges de l'autre paire de faces opposées E_2, E_4 assurent la mesure de la composante selon OX de ladite force.

A cet effet, les jauges des quatre faces E_1 à E_4 sont disposées dans deux ponts de mesure électrique de type

Wheatstone, identiques et indépendants et dont l'un est schématisé sur la figure 3.

Chaque pont de mesure incorpore dans ses quatre branches les quatre jauges de deux faces opposées, les jauges de
5 contrainte de même type ou homologue, par exemple les jauges longitudinales J_{L1} et J_{L3} , étant dans des branches adjacentes (par rapport à un point de mesure) du pont.

Les tensions de mesure V_m disponibles en sortie des deux ponts constituent les deux voies de mesure du capteur.

10 Le positionnement des jauges de contraintes sur les faces du corps d'épreuve 1 est bien plus facile à réaliser que sur des surfaces d'étendue bien plus large telles que celles d'un barreau à section constante d'un capteur traditionnel.

Dans un tel capteur, la déformation relevée par une jauge
15 pour une charge donnée est proportionnelle à la distance de ladite jauge au point d'application de la charge.

Par suite, toute erreur de positionnement de la jauge entraîne des variations de sensibilité importantes.

Avec le capteur de l'invention, un positionnement bien
20 plus précis des jauges est obtenu, ce qui permet de réaliser des capteurs de caractéristiques identiques ou quasi-identiques, ce qui est intéressant notamment lorsque l'on veut apparier ou associer des capteurs pour les intégrer dans une structure à plusieurs capteurs.

25 Si le capteur de la figure 1 peut s'utiliser seul pour la mesure de forces de flexion ou de torsion, il peut aussi être utilisé conjointement avec d'autres, notamment par trois, pour réaliser des systèmes de mesure des forces constituant un torseur équivalent au torseur des forces ou charges, de
30 flexion ou de torsion, transmises entre deux corps solides.

Les figures 4 et 5 illustrent l'application du capteur selon l'invention à la réalisation d'un dynamomètre à six composantes.

Ce dynamomètre comprend un moyeu central hexagonal 10
35 relié par trois bras rayonnants 11 à une couronne circulaire externe 12.

Chaque bras 11 est constitué par un capteur selon l'invention comprenant un corps d'épreuve 1, une partie d'encastrement intégrée dans le moyeu 10 et un tourillon 2
40 monté dans la couronne 12.

Les trois bras 11 sont, de préférence, disposés à 120° les uns des autres autour du moyeu 10 et les trois capteurs sont identiques, les jauges de contraintes n'étant pas représentées sur les figures 4 et 5.

5 Chaque tourillon 2 est muni, comme représenté sur la figure 4, en coupe partielle suivant la ligne IV-IV de la figure 5, d'une rotule 13 solidaire du tourillon et reçue dans une cage annulaire 14 dont la face interne sphérique glisse sur la rotule 13 et dont la face externe cylindrique glisse
10 également dans un alésage de la couronne 12.

En utilisation, le dynamomètre est solidarisé par son moyeu 10 d'un premier corps solide et par sa couronne 12 d'un second corps solide, des charges ou forces de flexion ou torsion étant transmises entre les deux corps solides (non
15 représentés) et qui peuvent être par exemple deux axes coaxiaux à la couronne 12. Les forces ou charges sont au point O des capteurs dans des plans perpendiculaires à l'axe des bras 11 respectifs.

Un tel dynamomètre permet de déterminer à l'aide de
20 mesures définissant, pour chaque capteur, les deux composantes de forces appliquées à ce capteur, le système équivalent, sous forme d'une force et d'un moment (de torsion ou de flexion), soit le torseur associé en un point de chargement donné.

Il est à noter que selon les applications dynamométriques
25 à six composantes du capteur selon l'invention, les trois bras 11 du système dynamométrique peuvent ne pas être régulièrement répartis angulairement, deux des bras 11 pouvant être par exemple alignés et l'agencement des trois capteurs, qui sont nécessairement dans un même plan, peut ne présenter aucune
30 symétrie.

Un tel système dynamométrique permettant d'évaluer avec précision les charges sur trois capteurs bidirectionnels en parallèle, évite le montage de capteurs traditionnels en série, lequel aboutit à un cumul des déformations de chaque
35 capteur et diminue d'autant la rigidité du système.

Le capteur de l'invention, seul ou associé à d'autres pour constituer des systèmes dynamométriques, est susceptible de nombreuses applications en métrologie et en robotique notamment.

Enfin, l'invention n'est évidemment pas limitée aux modes de mise en oeuvre représentés et décrits ci-dessus, notamment en ce qui concerne les formes et dimensions des trois parties constitutives du capteur (corps d'épreuve 1, partie 5 d'encastrement 2, partie d'application des charges 3), le nombre, la nature et la disposition des jauges de contrainte sur chaque face du tronc de pyramide du corps d'épreuve 1, le mode de montage desdites jauges dans les ponts de mesure électrique. C'est ainsi que chaque face (E_1 à E_4) peut ne 10 comporter qu'une seule jauge, qui sera longitudinale et le montage des jauges de deux faces opposées se fera, de préférence et pour obtenir une bonne précision, en demi-pont, les deux jauges étant disposées dans deux branches adjacentes, par rapport à un point de mesure, du pont considéré.

15 Sur chaque face (E_1 à E_4) peuvent être au contraire disposées un nombre de jauges supérieur à deux. On peut prévoir ainsi, par face, quatre jauges longitudinales agencées symétriquement par rapport à la médiatrice de la face, ou bien deux jauges longitudinales et deux jauges transversales, 20 également symétriquement disposées par rapport à la médiatrice de la face. En cas de jauges en nombre supérieur à deux par face, ce nombre sera de préférence pair, avec un nombre pair de jauges homologues (longitudinales ou transversales). Quant au montage des jauges dans les deux ponts de mesure, ils 25 pourront être variables selon la nature des mesures effectuées.

L'intérêt majeur de prévoir par exemple quatre jauges longitudinales par face réside dans l'augmentation de la résistance globale du circuit de jauges, qui entraîne une 30 diminution de la température de fonctionnement du capteur.

Suivant une autre variante, il est possible de ne placer des jauges de contrainte que sur l'une des faces de chaque 35 paire de faces opposées. Par exemple, on peut, sur la face E_1 , disposer quatre jauges, à savoir deux jauges longitudinales et deux jauges transversales, de préférence placées de manière symétrique par rapport à la médiatrice de la face E_1 . On procède de la même façon par exemple avec la face adjacente E_2 et les deux autres faces E_3 , E_4 demeurent vierges.

Les jauges de la face E_1 sont montées dans un pont de 40 mesure électrique de type Wheatstone de façon que les jauges

homologues, les deux jauges longitudinales d'une part et les deux jauges transversales d'autre part, soient dans des branches opposées.

L'intérêt de ce mode de réalisation réside dans le fait
5 qu'il existe sur le marché des supports prêts à coller de dimensions réduites (un carré de 8 mm de côté) portant quatre jauges agencées en sorte de pouvoir fonctionner, deux en longitudinal et deux en transversal, ce qui facilite et rend plus économique la mise en place des jauges sur le capteur de
10 l'invention.

Par ailleurs, plusieurs capteurs selon l'invention, en nombre (n) égal ou supérieur à deux, peuvent être agencés suivant différentes configurations, dans la mesure où ils sont disposés dans un même plan avec leur partie d'encastrement (2)
15 solidaire d'un même premier corps solide et leur partie de chargement (3) solidaire d'un même second corps solide, en vue de constituer des systèmes dynamométriques à $2n$ composantes afin de déterminer notamment le torseur des forces ou charges appliquées par l'un des corps solides à l'autre.

20 2. Capteur de force selon la revendication 1, caractérisé en ce que la pente (p) de chaque face (E_1 à E_4) du corps d'épreuve (1), par rapport à l'axe (A) de ce dernier, est compris entre 5 et 9°.

4. Capteur de force selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le point de tangence desdites faces (E_1 à E_4) par rapport à ladite surface d'isocontrainte (5) est au droit de la racine d'encastrement (6) du corps d'épreuve (1).

35 6. Capteur de force selon la revendication 5, caractérisé
en ce que la jauge longitudinale ou l'ensemble de jauges

longitudinales est disposé sur chaque face (E_1 à E_4) de manière symétrique par rapport à la médiatrice de la face.

7. Capteur de force selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que chaque face (E_1 à E_4) est munie de deux jauges, l'une longitudinale (J_{L1} à J_{L4}) et l'autre transversale (J_{T1} à J_{T4}).

8. Capteur de force selon la revendication 7, caractérisé en ce que les deux jauges (J_L , J_T) de chaque face (E_1 à E_4) sont disposées chacune symétriquement par rapport à la médiatrice de la face.

9. Capteur de force selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que chaque face (E_1 à E_4) comporte un nombre de jauges pair supérieur à deux, les jauges étant toutes longitudinales ou bien longitudinales et transversales en nombre égal par face et disposées de manière symétrique par rapport à la médiatrice de la face.

10. Capteur de force selon la revendication 5, comportant une seule jauge longitudinale par face (E_1 à E_4), caractérisé en ce que dans chaque pont de mesure électrique les jauges des deux faces opposées sont montées dans deux branches adjacentes.

11. Capteur de force selon la revendication 7, caractérisé en ce que dans chaque pont de mesure électrique, les jauges de contrainte homologues (J_{L1}, J_{L3} ; J_{T1}, J_{T3}) sont disposées dans deux branches adjacentes.

12. Capteur de force selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que seule l'une des faces des deux paires de faces opposées comporte des jauges, au nombre de quatre, à raison de deux jauges longitudinales et deux jauges transversales, disposées de préférence de manière symétrique par rapport à la médiatrice de la face, les jauges homologues d'une même face étant montées dans des branches opposées d'un même pont de mesure électrique.

13. Système dynamométrique à $2n$ composantes, n étant un nombre entier égal ou supérieur à deux, constitué à partir de n capteurs selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce qu'il est formé de n capteurs dont les axes (A) sont disposés dans un même plan, dont les parties d'encastrement (2) sont solidaires d'un même premier corps solide et dont les parties de chargement (3) sont solidaires

d'un même second corps solide, en vue de déterminer les forces de flexion ou torsion transmises de l'un des corps solide à l'autre.

14. Système dynamométrique suivant la revendication 13,
5 caractérisé en ce qu'il comporte trois capteurs (1).

15. Système dynamométrique suivant la revendication 14, caractérisé en ce que les trois capteurs (1) forment trois bras rayonnants (11) décalés angulairement de 120° .

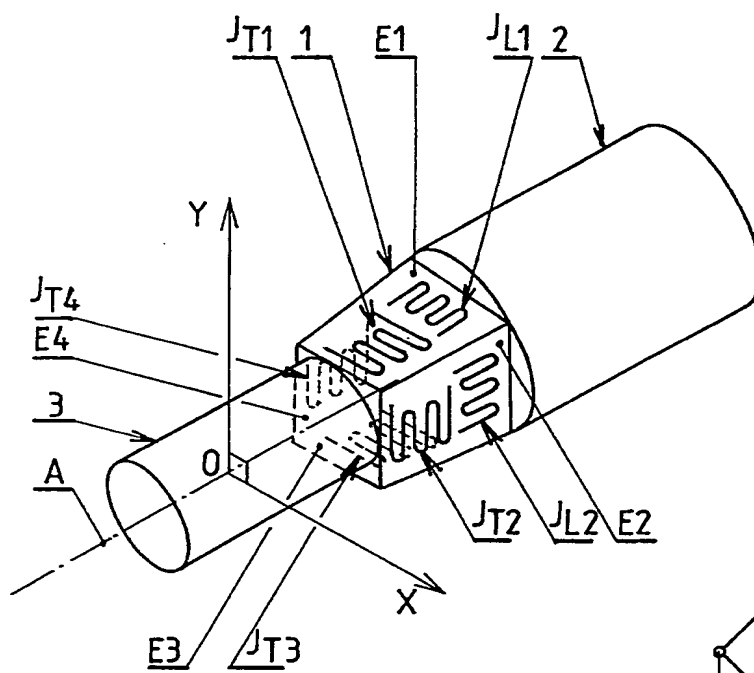


FIG. 1.

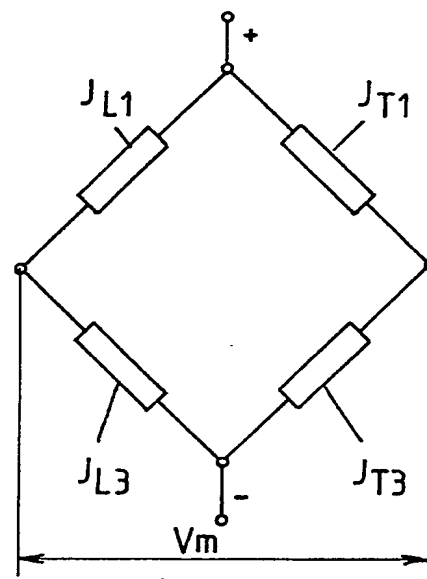


FIG. 3.

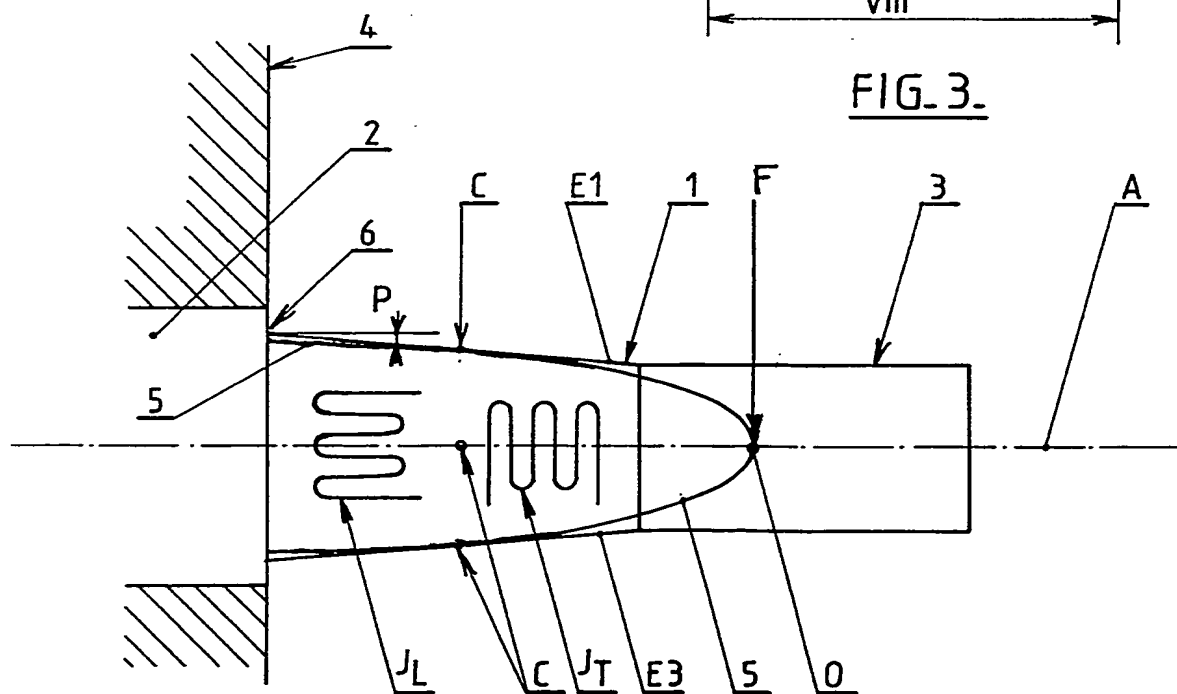


FIG. 2.

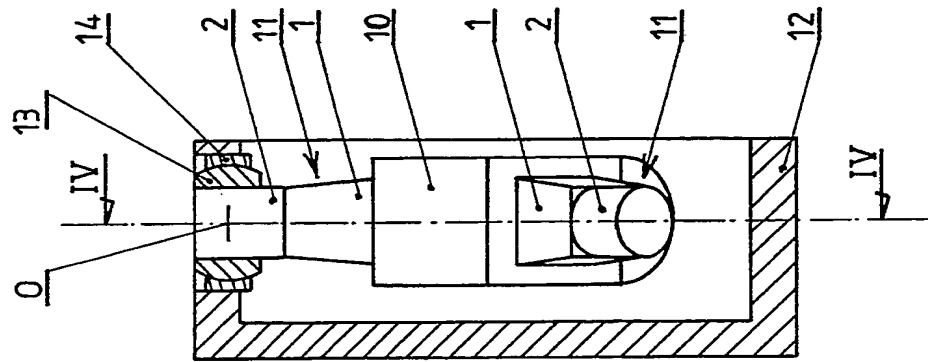


FIG. 5-

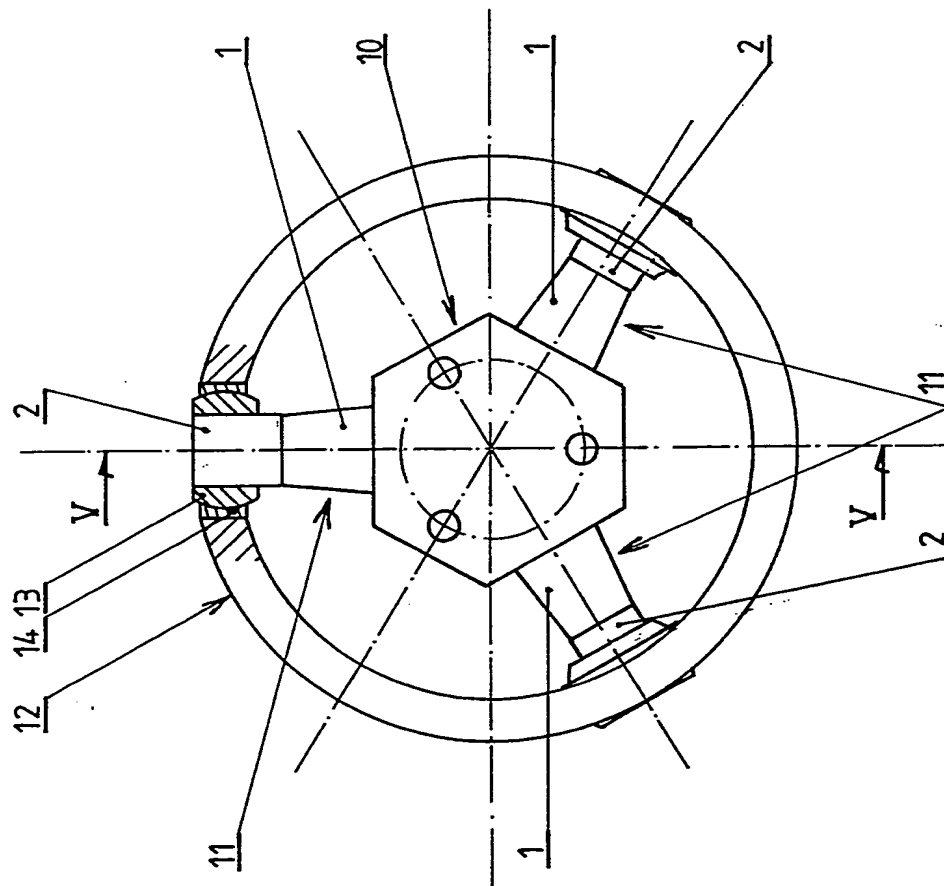


FIG. 4-

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
A	FR-A-2 588 957 (HISPANOSUIZA) * le document en entier * -----	1, 13-15
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.5)
		G01L
Date d'achèvement de la recherche		Examinateur
15 Mars 1994		Zafiropoulos, N
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ----- & : membre de la même famille, document correspondant</p>		